

コンピュータグラフィックスによる景観シミュレーションのための樹木の表現法に関する研究

著者	金丸 直義
号	1379
発行年	1991
URL	http://hdl.handle.net/10097/6652

氏 名	金 丸 直 義
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 4 年 3 月 27 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気及通信工学専攻
学 位 論 文 題 目	コンピュータグラフィクスによる景観シミュレーションのための樹木の表現法に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 斎藤 伸自
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 斎藤 伸自 東北大学教授 澤田 康次 東北大学教授 西関 隆夫

論 文 内 容 要 旨

1 本研究の背景と目的

一般に、コンピュータグラフィクスによる画像生成は、形状定義 (modeling) と形状描画 (rendering) からなる。形状定義とは描こうとする物体の形状をなんらかのかたちで数値的に表現することであり、形状描画とは表現された形状に基づき、画像を生成することである。

コンピュータグラフィクスの重要な応用分野のひとつにフライトシミュレータや様々な建設計画における景観シミュレーションが挙げられる。コンピュータグラフィクスで取り扱う対象は、機械部品や建築物などのような人工的につくられた人工物体と、自然界に存在する山、雲、樹木や人間などのような自然物体に大別できるが、景観シミュレーションにおいては自然物体の表現が特に重要である。さらに、公園や街路樹などの景観設計では、樹木が重要な構成要素となっている。

一般に自然物体は人工物体と比べ、その形状が複雑で多種多様であるため、人手による形状の入力や、何らかの機械認識等を用いた実物からの形状の入力は現実的には不可能である場合が多い。しかしながら、自然物体、特に樹木の場合はその形状の生成過程がシミュレーションできれば複雑な多量の形状データを生成するような手続きのな形状定義法の開発が期待できる。

本論文では、まず、景観シミュレーションのための樹木の形状表現法についていくつかの検討を行なっている。ひとつめは、樹木の骨格形状を与える樹形モデルには、受光量不足による枝折れ、向日性による枝の方向の修正と潜伏芽の発芽を考慮した生長モデルが有効であることを述べ、シミュ

レーション実験によってこれらの有効性を示す。ふたつめは、葉の表現法と太さを持った樹木の表現形状の定義法、風などによる揺らぎの表現法について考察し、シミュレーション実験によってこれらの有効性を検証する。

次に、形状描画処理において必要とされる走査線変換処理について、多角形を走査線変換するための高速なアルゴリズムを与える。

2 受光量不足と向日性による自然な枝振りのシミュレーション

樹木のリアルなCG画像の生成は、種々の建設計画のための景観シミュレーションや、フライトシミュレータやドライビングシミュレータのための景観シミュレーションに重要な応用をもつ。リアルな樹木のCG画像の生成には、まずその自然な印象をもつ骨格形状を得ることが重要であり、これまでもそのための生長モデルが活発に研究されてきている。しかしながら、これまでに提案されている、遺伝的に定まるような分枝パターンを与える生長モデルのみでは自然な樹形、すなわち丸みを帯びた樹冠の形成、受光量不足による枝垂れ、樹冠の再生を実現するような枝振りをもった樹形は得られない。第2章では、まずこのような自然な樹形を安定に得るためには、環境との対話性、すなわち受光量不足による枝の枯死と枝先の向日性による空間探索機能を考慮した生長モデルが有効であることを述べ、シミュレーション例によりその効果を示した。次に、モデルのもつパラメタと樹形の関係を明らかにした。

本章の方法から得られた骨格形状を用いたCG画像の例(図1)を示す。

3 潜伏芽の発芽のシミュレーション

第3章では、樹形の経年変化、特に老木のような複雑な印象をもつ樹形を得るためには、向日性による自然な枝振りのシミュレーションに加え、潜伏芽の発芽、枝の活性期と力枝の存在、枯れ枝の残存性のシミュレーションが重要となることを述べ、シミュレーション例によってこれらの効果を示した。

古い幹や枝で行われる潜伏芽の発芽は、枝先だけの分枝では得られない、桜の老木のような複雑な樹形の生成に重要である。また、剪定後の樹形を表現する場合にも重要である。この潜伏芽の発芽は自然の樹形においてごく一般的に見うけられ、樹形の視覚的印象に与える影響も大きい。

針葉樹では樹齢の増加に伴って一次枝が枯れ上がる様子が観察される。力枝の存在は樹木の生長につれ、下枝が枯れ落ちていき、樹冠の下部で力強く存在する枝(力枝)が、次第に高くなるという生長の印象に重要である。

本章の方法から得られた骨格形状を用いたCG画像の例(図2)を示す。

4 葉、樹皮、樹木の揺らぎの表現法

第4章では、近景での樹木の詳細な描画において重要である葉と樹木の表面の表現法と、アニメーション作成のために必要である風による動きの表現法について考察した。

まず、1枚の葉を詳細に定義する手法として、実物の葉の画像を用いて、3角形分割とテクスチャ

マッピングによる3次的に湾曲した葉の表現法を提案した。また、葉を樹木上に配置する手法として、受光ベクトルの方向と、重力による枝垂れの効果を考慮した配置法を提案し、シミュレーション実験によってその効果を示した。

次に、太さをもった枝の表面形状を定義する手法として、枝分かれ部分の滑らかな接続という観点から、3次元空間上に定義された濃度分布の等濃度面によって作られる分岐形状を多面体データによって表現する手法を提案し、シミュレーション実験によってその有効性を確認した。

さらに、CGアニメーションを作成するために必要である、風による樹木の揺らぎの表現法について考察し、節点モデルによる動きの表現法を提案した。

5 多角形の走査線変換とその応用

第5章では、多角形で定義された形状から画像を描画するという観点から、多角形を走査線変換する高速なアルゴリズムを与えた。また、このアルゴリズムの応用として2変数整数計画問題を解く高速なアルゴリズムを与えた。

コンピュータグラフィックスにおける画像生成法の一つにZバッファ法がある。Zバッファ法では、スクリーンである2次元平面上に、図形の外周となる多角形が、実数値を持つ頂点の列として与えられたとき、多角形領域を走査線変換する。すなわち、その多角形の内部に含まれる画素に相当する格子点(整数座標値を持つ点)を列挙することが必要である。この問題に対する素朴なアルゴリズムは、 $\Omega(K+n)$ 時間を必要とする。ここで K は出力サイズ、すなわち、多角形内部の格子点の数を表す。

本章では、まず、任意の3角形に含まれるすべての格子点を $O(K+\log n)$ 時間で列挙するアルゴリズムを与えた。次に、3角形に対するアルゴリズムを凸多角形に対しても適用できるように拡張した。このアルゴリズムは凸 m 角形に対して、その内部に含まれるすべての格子点を $O(K+m+\log n)$ 時間で列挙できる。ここで用いた手法の基本的なアイデアは、格子点を保持したまま、3角形あるいは多角形を変換することである。

次にこの変換を用いて、2変数整数計画問題を解く効率の良いアルゴリズムを与えた。 m 個の制約式からなる問題に対し、このアルゴリズムの時間計算量は $O(m \log m + \log n)$ である。このアルゴリズムは、従来知られている $O(m \log m + m \log n)$ 時間アルゴリズムより単純であり、しかも時間計算量を改善している。

6 結 論

本研究における主要な結果をまとめた。



図1：向日性を考慮した生長モデルによる画像生成例



図2：潜伏芽を考慮した生長モデルによる画像生成例

審 査 結 果 の 要 旨

コンピュータグラフィックスを用いた景観シミュレーションでは自然物体、特に樹木の表現法が重要な課題となっているが、自然な枝振りを持つ樹木の生成法やその効率のよい表現法はいまだ確立されていない。

著者は向日性による枝の生長方向の修正、受光量不足による枝折れ、および潜伏芽の発芽を考慮した樹木の生長モデルを提案し、シミュレーション実験によりその有効性を確認した。また樹木の形状描画処理に必要な走査線変換アルゴリズムを与えた。本論文はその成果をとりまとめたもので、全編6章からなる。

第1章は序論である。第2章では、自然な印象を持つ樹木の骨格形状を生成するためには、遺伝的に定まる分枝パターンに基づいた生成手続きの他に、生長環境も考慮する必要があることに着目し、枝先の向日性による空間探索機能と、受光量不足による枝の枯死とを考慮した生成モデルを提案し、計算機シミュレーションによりその有効性を確認している。

第3章では、老木のような複雑な印象の樹形や、街路樹のような剪定を受けた場合の樹形を生成するために、潜伏芽の発芽を考慮した生長モデルを提案し、シミュレーション例によりその有効性を検証している。これは新しい着眼点に基づく優れた成果である。

第4章では、葉と樹木の表面形状の表現法を検討している。まず、3角形分割とテクスチャマッピングを用いて葉の詳細を表現する方法を与え、ついで、骨格形状生成で得られた枝に葉軸を付け、葉軸のまわりに葉を配置する手法を与えている。また、複数の濃度線分によって作られる濃度場の等濃度面を多面体データに変換するという新しいメタボール法を用いて、樹木の表面形状を表現する方法を開発している。

第5章では、樹木の形状描画処理に必要な走査線変換は、与えられた凸多角形内部の全ての整数格子点を列挙する問題に帰着することに着目し、その問題を効率よく解くアルゴリズムを、最小公倍数を求めるユークリッドの互除法に類似したアイディアを用いて求めている。またそのアルゴリズムを応用すれば、2変数整数計画問題を従来のアルゴリズムより高速に解くことができることも示している。これらはアルゴリズム理論の成果としても高く評価される。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、コンピュータグラフィックスの手法によって樹木を表現する方法の研究を行い、自然な樹木の画像を効率よく生成するために必要な、いくつかの重要な指針と成果を与えたもので、通信工学および画像情報工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。